Stokes
ELECTRICAL
ENGINEERING
DEPARTMENT

Untersuchungen

über die

Bestimmung der erdmagnetischen Inclination

vermittelst des

Weber'schen Erdinductors.

Inaugural-Dissertation

verfasst und

der hohen philosophischen Facultät der Universität Jena

zur

Erlangung der Doctorwürde

vorgelegt von

M. Th. Edelmann
in München.

München.
Druck von R. Oldenbourg.
1881.

Digitized by the Internet Archive
in 2017 with funding from
University of Illinois Urbana-Champaign Alternates

https://archive.org/details/untersuchungenub00edel

538
Ed2u REMOTE STORAGE
20ap16-c.c.

Bei einigen der im Jahre 1883 von mehren nordischen Staaten gleichzeitig stattfindenden arktischen Expeditionen, welche ihre erdmagnetisch-instrumentellen Bedürfnisse zum Theil durch meine Werkstätten decken, ist beabsichtigt, die Bestimmung der Inclination vermittelst des Weber'schen Erdinductors vorzunehmen. Dieser Umstand hat mich veranlasst, vor allem die Construction der hierher gehörigen Instrumente einer gründlichen Durcharbeitung zu unterziehen, und ferner Untersuchungen darüber anzustellen, ob und wie die Messungsresultate dieser Methode auf den erforderlichen Grad der Genauigkeit gehoben werden könnten. Die folgenden Zeilen sind nun hauptsächlich dazu bestimmt, diese bestellten Instrumente zu begleiten, und werden demnach eine vollkommene Anleitung zur Inclinationsbestimmung sammt der Beschreibung der Apparate zu enthalten haben.

Elect. Eng. 28 My 15 Maynard 35

§ 1.

In Pogg. Ann. XC, 209 hat Weber jene Methode angegeben, welche aus der Intensität von Inductionsströmen, die der Erdmagnetismus in zweckmässig bewegten Leitungsdrähten hervorbringt, die Grösse des Inclinationswinkels abzuleiten gestattet. Das Verfahren beruht — im Anschluss an die vorliegende neuere Construction — bekanntlich auf folgendem Grundgedanken.

Eine grosse Rolle R Fig. 1, welche aus dickem Kupferdraht in vielen Windungen gewickelt ist, kann um die Achse X gedreht werden. Diese Achse ist in einem halbkreisförmigen Bügel L aus Messing gelagert, der sich selbst wieder um die horizontale Achse Y umlegen lässt. Letztere Achse ist vermittelst der Spitzenschrauben a und b in

p. 38872

den Dreifuss $c\,d\,(e)$ eingesetzt, und zwei Stellschrauben f und g, welche in dem Fussgestelle D stecken, begrenzen die Drehung des Bügels L um seine Achse Y auf einen Betrag von 90°. Ist der letztere bei h in Berührung mit der Schraube f, wie die Figur zeigt, dann kann man die Drahtrolle R um die jetzt vertical stehende Achse X drehen, wobei nur der horizontale Antheil des Erdmagnetismus Inductionserscheinungen in den Drahtwindungen hervorbringen kann; man erhält unter sonst gleichen Umständen stets Inductionsströme, deren Stärke proportional zur Horizontalintensität ist. Wird jedoch der Bügel L um die Achse Y gedreht, bis die Fläche i in Anschlag mit der Stellschraube g gelangt, dann erhält die Achse X horizontale Lage. Richtet man dieselbe ausserdem noch in die Ebene des magnetischen Meridians und dreht jetzt die Rolle, so kann lediglich der verticale Antheil des Erdmagnetismus auf die Rolle einwirken und man erhält jetzt Inductionsströme, bei deren Messung eine Proportionale zum verticalen Antheil des Erdmagnetismus resultirt. Der Quotient dieser so gefundenen beiden Proportionalzahlen pflegt als die Tangente des Inclinationswinkels angenommen zu werden.

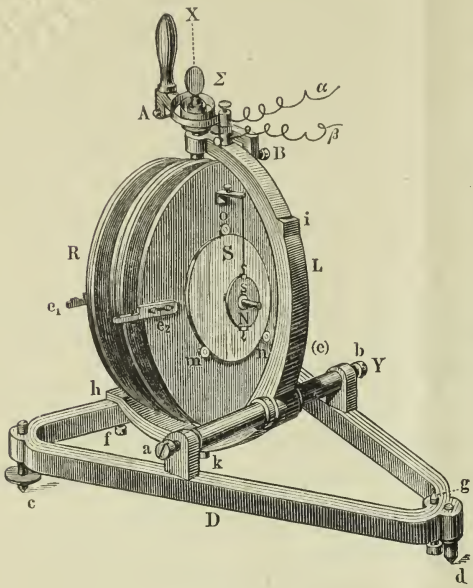


Fig. 1.

Zur regelmässigen Erzeugung der Inductionsströme wird der Erdinductor R um die Achse X nicht rundum gedreht, sondern er wird nur in einem Betrage von je 180° vor- und dann wieder zurückgeschlagen, was sich durch die beiden Anschläge A und B begrenzt. Hierdurch erhält man während jedes Umwendens der Rolle R einen „Inductionsstoss", dessen Richtung von der Drehrichtung der Rolle abhängt, also mit ihr der Reihe nach sein Zeichen wechselt.

Die Enden des Drahtes vom Erdinductor R stehen in leitender Verbindung mit den Klemmen α und β, von wo ab die Ströme in ein Schwingungsgalvanometer übergeleitet werden und hier zur Messung gelangen.

Bezeichnet man mit F die Gesammtsumme aller von den einzelnen Drahtwindungen der Rolle R umschlossenen Flächen, ferner mit P die gesammte erdmagnetische Kraft, weiters mit φ den Inclinationswinkel, endlich mit ε eine von instrumentellen Eigenthümlichkeiten etc. abhängige Constante, dann ist die elektromotorische Kraft J_1 der einzelnen, durch die Drehung des Erdinductors in der ersten Achsenlage erzeugten Inductionsstösse

$$J_1 = \varepsilon \cdot F \cdot P \cdot \cos \varphi,$$

wobei die Anschläge A und B so zu stellen sind, dass der jedesmalige Stillstand der Windungsebenen senkrecht zur Richtung der Declinationsnadel erfolge.

Bei der wagrechten Position der Achse X, wo horizontale Lagen der Windungsebenen die Drehung begrenzen, findet sich dagegen

$$J_2 = \varepsilon \cdot F \cdot P \cdot \sin \varphi.$$

Durch Division dieser Gleichungen unter sich erhält man den Werth der jeweiligen Inclination, gegeben durch

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{J_2}{J_1}.$$

J_1 und J_2 werden nun vermittelst Strommessung im Schwingungsgalvanometer bestimmt, die hierdurch gefundenen beiden Zahlen, welche proportional zu den Stromintensitäten angenommen werden, in die letzte Gleichung statt J_1 und J_2 eingesetzt und φ berechnet. Für kleine Nadelausschläge, wie solche mit Spiegel und Scalenfernrohr bestimmt zu werden pflegen, nimmt man an, genügende Genauigkeit auf diesem Wege erreichen zu können. Wir werden im weiteren Verlauf dieser Arbeit zur Untersuchung gelangen, ob diese Annahme in der That stattfinden dürfe.

Wie wir aus dem Vorstehenden entnehmen, muss man die Lage der Windungsebenen genau kennen und dieselben, sowie die Drehachse, in die erforderlichen Lagen in Bezug auf Horizont und magnetischen Meridian zu bringen vermögen; ferner ist es nothwendig, dass die Inductionsrolle genau um 180^0 gewendet werden könne. Je besser die constructive Anlage des Instrumentes allen diesen Anforderungen Genüge zu leisten gestattet, desto werthvoller sind natürlich die mit dem Erdinductor zu findenden Resultate. Die vorliegende neueste Construction des Erdinductors, bei welchem mit einziger Ausnahme der Rollenfassung wegen der Unveränderlichkeit alles aus Messing sich aufbaut, gestattet die grösste Feinheit der Einstellung und die weitest-

gehenden Bestimmungen und Controlen der erforderlichen Lagen der Inductionsrolle und ihrer Umkippungsachse. Die hierzu dienenden neuen Einrichtungen und ihre richtige Verwendung werden sich aus der nachfolgenden Gebrauchsanweisung ergeben.

§ 2.

Der Erdinductor muss auf einer sehr festen Unterlage aufgestellt werden, welche trotz einer möglicherweise etwas unzarten Behandlung der Rolle beim Drehen sicherlich keinerlei Veränderung in der Position des Instrumentes zulassen wird; am besten stellt man denselben zum Zweck dauernder Beobachtungen auf einen aus dem „gewachsenen" Boden heraus aufgemauerten und mit einer Steinplatte belegten — selbstverständlich eisenfreien — Pfeiler. Die Unterlagsplatten des Instrumentes, welchen ich eine zweckentsprechende Einrichtung gegeben habe, müssen in fester Verbindung mit dieser Steinplatte gebracht werden, so dass das Instrument trotz der Erschütterungen durch das Umlegen sich nicht auf dem Pfeiler verschieben könne. Das Schwingungsgalvanometer wird in einer Entfernung von etwa 3^{m} vom Inductor in Gesichtshöhe ebenfalls so unveränderlich als möglich aufgestellt, und zwar am besten so, dass die Verbindungslinie der Mittelachsen von Erdinductor und Galvanometer ungefähr senkrecht auf dem magnetischen Meridiane stehe. In dieser Lage der beiden Instrumente zu einander wird deren gegenseitige magnetische Störung, wenn je eine solche befürchtet würde, ein Minimum. In bequemer Nähe (bei Rechtshändigen links) vom Inductorium wird das Scalenfernrohr für das Galvanometer aufgestellt und der Spiegel an der Schwingungsnadel dem Stande des Fernrohrs zugekehrt; ebenso auch das Spiegelgehäuse.

Endlich werden beide Instrumente durch zwei dicke, neben einander laufende, isolirte Leitungsdrähte verbunden, wobei man Rücksicht auf die Einschaltung einiger Widerstandsapparate zu nehmen hat, wie dieses später gezeigt wird; und nun schreitet man zur Einstellung und Berichtigung des Erdinductors.

I. Vor allem ist es nothwendig, jene Arbeit vorzunehmen, durch welche man bewerkstelligt, dass sich die beiden Achsen X und Y genau senkrecht kreuzen. Um dies erreichen zu können, ist auf dem Bügel L, wo der untere Theil der Achse X um eine Körnerschraube k läuft, eine Correctionsvorrichtung angebracht, durch welche man die Lagerung der Schraube k parallel zur Richtung der Achse Y verschieben kann.

In der Figur ist diese Vorrichtung durch das Ende der Achse Y verdeckt. Man stellt den Erdinductor irgendwo auf eine solide Unterlage, legt eine Libelle quer über die Ecken des Dreifusses D und vermittelt durch die Fussschrauben c und (c) seine ungefähr horizontale Lage. Hierauf stellt man die Drehachse X vertical und hängt über die Achse Y unter Vermittlung eines dem Instrumente beigegebenen, hier nicht eigens abgebildeten Doppelhakens eine Libelle, wodurch man diese vermittelst der Stellschrauben c und (c) horizontal richtet. Sodann legt man die Achse X auf die Schraube g nieder und richtet sie durch eben diese Schraube wagrecht vermittelst einer Libelle, welche man unter Anwendung des Bügels P Fig. 2 über diese Achse stellt. Endlich richtet man die Achse X wieder auf, legt die Libelle über ihre Lager e_1 und e_2 und erreicht nun ihren verticalen Stand (nach der Correctur der Libelle und der Libellenauflage durch Umlegen) einerseits vermittelst der oben erwähnten Vorrichtung bei k, andererseits durch Anwendung der Stellschraube f, wobei man selbstverständlich der Rolle R vermittelst Drehung um die Achse X zwei nach dem Augenmaasse zu einander senkrechte Stellungen gibt, bei welchen das eine Mal die Libelle parallel zu Y, das andere Mal parallel zu L steht.

Die nächste Arbeit ist nunmehr, die mittlere Lage der Windungsebenen zu bestimmen; dies geschieht dadurch, dass man vor der Inductionsrolle R die mit Spiegel versehene Magnetnadel N an einem durch Belastungsgewicht austordirten Coconfaden vor der Rolle R und so das ganze Instrument als Galvanometer montirt.

II. Man stellt die Schiene P Fig. 2 (nach Abnahme der Magnetnadel ns und der Spitze p) über die beiden Lager e_1 und e_2 am Inductor und auf dieselbe eine Libelle. Durch Drehen des Inductors um seine Achse, Correctur an den Schrauben bei e_2 und an den Fussschrauben des Apparates bringt man die Achse X in verticale Lage, wenn dies nicht schon von vorhin noch bestehen sollte.

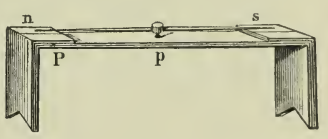


Fig. 2.

III. Hierauf hängt man die Magnetnadel N (im Detail in Fig. 3 dargestellt) ein, und dreht nun den Erdinductor so, dass die Spiegelbilder verticaler und horizontaler Kanten oder dergleichen im Spiegel s der Nadel N und im grossen, dahinterliegenden Spiegel S des Erdinductors sich ergänzen: die Ebenen der Spiegel werden parallel gestellt.

Fig. 3.

IV. Hierauf hängt man die Magnetnadel um 180° um, indem man sie jetzt an den gegenüberliegenden Aufhängehaken hängt. Die Hälfte von dem, was nun die Spiegelbilder aus einander liegen, ist einerseits die Parallaxe zwischen der optischen und der magnetischen Achse der Nadel, andererseits einem Mangel an Verticalität der Spiegelflächen zuzuschreiben. Diese Fehler werden fürs erste halb durch Drehen des Inductors, halb durch die Stellschrauben $a, b, (c)$ Fig. 3, sodann (vertical) je zur Hälfte durch $a, b, (c)$ und m, n, o hinweggebracht; durch öfteres Umhängen der Nadel und Wiederholung dieser Correctionen bringt man die Parallaxe ganz hinweg. Die optische Achse des Spiegels und die magnetische Achse der Nadel N liegen jetzt im magnetischen Meridiane und zwar horizontal.

V. Dass der Spiegel S parallel zur Achse X sei, muss ausserdem durch eine Libelle berichtigt werden, welche man während horizontaler Lage von X über diesen Spiegel legt.

VI. Nun leitet man einen Strom aus einem galvanischen Elemente bei α und β durch die Rolle R unter Einschaltung irgend eines Schlittenwiderstandes, einer Brücke, oder unter Anwendung irgend eines anderen Mittels, welches die Stromdichte successive zu steigern gestattet. Die Stromesrichtung muss eine derartige sein, dass der Elektromagnetismus der Rolle dem Erdmagnetismus entgegenwirkt — die Nadel N astasirt; sind nun die Windungsebenen der Rolle nicht genau senkrecht zum magnetischen Meridian, so zeigt sich mit Zunahme der Stromintensität in der Rolle eine zunehmende Ablenkung der Nadel N, welche durch entsprechendes Drehen des Erdinductors um seine Achse wieder aufgehoben wird.

VII. Wenn die Nadel durch solche Ströme nicht mehr abgelenkt wird, dann stellt man den Spiegel des Erdinductors vermittelst der Schrauben m, n, o parallel zum Spiegel der Nadel N, worauf die Spiegelebene S jetzt parallel zur Mittelebene der Windungen (und zugleich senkrecht zum magnetischen Meridian) liegt; zugleich ist die Vorschrift V zu beachten. Die folgenden beiden Vorschriften beziehen sich auf die Correctur der Lager e_1 und e_2 bezüglich der etwaigen Verwendung der auf dem Bügel P anzubringenden Magnetnadel ns; sie wären eigentlich nicht unbedingt nothwendig, erweisen sich aber bei der definitiven Aufstellung des Apparates und bei der Controle seines unveränderten Standes als bequem.

VIII. Nun bringt man, nachdem jetzt noch keiner der Anschläge A oder B in Benützung trat, den Anschlag A durch Drehen der Rolle R in Contact mit dem Lagerkörper L und rückt den ganzen Apparat, während der Anschlag A anliegend bleibt, auf seinen Unterlegeplatten so, dass auch jetzt durch die Coïncidenz der Spiegelbilder die Windungsachse wieder in die magnetische Nord-Süd-Richtung gelangt. Gleichzeitig ist durch Beachtung der Vorschrift II die verticale Lage der Drehungsachse X wieder zu besorgen.

IX. Während die Windungsachse in dem magnetischen Meridiane liegt, was jetzt durch Benützung des Anschlages A erreicht wird, setzt man den Bügel P Fig. 2 sammt der Magnetnadel ns auf die Lager e_1 und e_2, welche in Schlitzen verschieblich sind. Durch Verschieben derselben erreicht man leicht, dass die Magnetnadel in Coïncidenz mit den auf der Schiene eingerissenen Indices kommt. Nach dieser Arbeit sind die Schrauben von e_2 wieder für die richtige Auflage der Libelle einzustellen.

Während die vorstehenden Arbeiten den Apparat für die Aufstellung vorbereiten und auch an jedem beliebigen anderen magnetfreien Orte vorgenommen werden könnten, dienen die nachfolgenden zur definitiven Aufstellung und müssen am Beobachtungsplatze selbst besorgt werden.

X. Man stellt über die horizontal gelegte Achse X den Bügel P sammt der Magnetnadel ns und stellt diese Achse in den magnetischen Meridian ein. Darauf legt man diesen Bügel mit Magnetnadel über die Lagerungen e_1 und e_2 und stellt die beiden Anschläge so, dass die Nadel auf die Indices einspielt.

XI. Dann wird durch Auflegen der Schiene P sammt Libelle über die Lager e_1 und e_2 die Achse genau vertical gestellt.

XII. Nachdem die Achse X wieder horizontal gelegt ist, wird die Rolle R so gedreht, dass der Spiegel S sich o b e n befindet. Durch Ueberlegen einer Libelle über ihn unter senkrechter Kreuzung mit der Achse X und Verstellen der Anschlagsschraube A wird nunmehr der Spiegel S und mit ihm die mittlere Windungsebene in horizontale Lage verbracht.

XIII. X wird nun wieder aufgerichtet, die Magnetnadel N vor den Spiegel S aufgehängt und, während die Contactschraube A anliegt, das ganze Instrument so verschoben, bis beide Spiegel s und S vollkommen parallel stehen und dadurch die Windungsachse in die

erforderliche Nord-Süd-Richtung kommt. Zugleich muss unter Benützung der Vorschrift XI (II) die Achse X in genau verticaler Lage erhalten werden.

XIV. Hierauf steckt man den Spiegel Σ auf die Achse X, stellt ein Scalenfernrohr auf diesen beiderseitig reflectirenden Spiegel und irgend einen Theilstrich der Scala unter das Fadenkreuz. Hierauf schlägt man das Inductorium herum und corrigirt die Schraube B so, dass jetzt der nämliche Theilstrich der Scala unter das Fadenkreuz tritt, wodurch der Umkippungswinkel auf 180^0 gebracht wird. Damit ist die Aufstellung des Apparates beendigt.

Es kann nicht geleugnet werden, dass diese Art und Weise der Einstellung ziemlich viele Zeit und Aufmerksamkeit erfordert; indessen ist dieselbe durchaus nicht schwierig und gelingt bei jener Uebersicht über die ganze Arbeit, welche durch Uebung von selbst kommt, ganz leicht. Ausserdem bietet dieselbe jeden gewünschten Grad von Genauigkeit und hat, da das Instrument sehr kräftig in den Dimensionen gehalten ist, den grossen Vortheil, dass sie, wenn einmal sorgfältig ausgeführt und durch die strenge angezogenen Gegenmuttern gesichert, von geradezu unzerstörbarer Dauer das Instrument jeden Augenblick zum Versuch bereit finden lässt. Hierdurch erhält man homogene Resultate; die ursprünglich aufgewandte Zeit und Mühe lohnt sich selbstverständlich dadurch, dass man nicht, wie mit allen früheren Constructionen des Weber'schen Erdinductors — soweit mir wenigstens solche bis jetzt bekannt wurden — die langweilige Arbeit des jedesmaligen Neueinstellens bei jeder Bestimmung durchzumachen hat, sondern sich nur von Zeit zu Zeit unter Anwendung der Libelle und der Nadel N des unveränderten Standes der Apparate zu versichern hat.

§ 3.

Die Eigenthümlichkeit der Entstehungsweise und des Verlaufes der Ströme im Erdinductor erfordern die Einrichtung eines besonderen strommessenden Apparates, nämlich des Schwingungs-Galvanometers. Dieses Instrument, dessen Einrichtung und Theorie W. Weber, in dem 10. Bande der königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, angegeben hat, besteht (Fig. 4) aus einem Hartgummirahmen R, um welchen sich die dickdrähtigen und mit dem Erdinductor widerstandsgleichen Galvanometerwindungen in flachen Ringen herumlegen. Diese Windungen, welche in den beiden Klemmschrauben a und b

endigen, wirken auf ein astatisches, sehr langsam schwingendes Nadelpaar *c d*, welches durch den Stab *s* mit einem Spiegel verbunden ist, der sich innerhalb des Spiegelgehäuses *S* befindet. Spiegel und Spiegelgehäuse sind um die verticale Achse gegen das Nadelsystem beliebig zu verdrehen, um die Wahl des Ortes für Aufstellung des Ablesefernrohres nicht zu beschränken. Das Instrument ist selbstverständlich mit einem Drehfusse *D* versehen; ein Glascylinder *C* und eine runde Glasplatte *P*, welche auf dem Zinkteller *T* ruhen, schliessen das Instrument gegen Luftzug ab. Beide können nach dem Abheben der Spiegelkapsel *S* hinweggenommen werden.

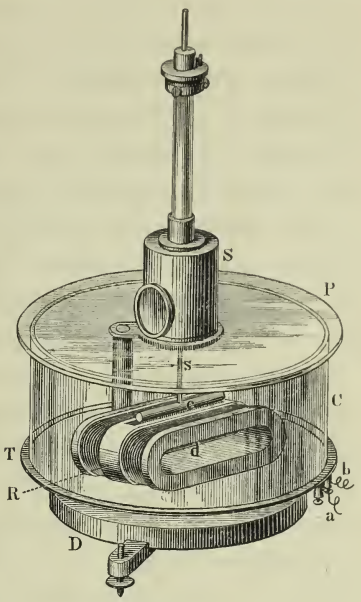


Fig. 4.

Zwischen der Oberfläche des Windungsrahmens *R* und der Glasplatte *P* ist so viel Raum, dass das astatische Nadelpaar (oder ein mit demselben gleichschwerer Torsionsstab) hier frei schwingen kann, wenn man den Suspensionsfaden (Bündel Coconfäden) in die Höhe zieht. Zum Ablesen des Spiegels der Nadeln in dieser Höhe wird das Spiegelgehäuse *S* umgekehrt aufgesteckt.

Was die Aufstellung des Instrumentes anbetrifft, so weicht dieselbe von der anderer Galvanometer nicht wesentlich ab. Jedoch erweist es sich hier als unbedingt nothwendig, dass man durch einen statt des Nadelsystems einzuhängenden gleichschweren unmagnetischen Körper vor den Versuchen die Coconfäden einige Zeit hindurch sich strecken und austordiren lässt. Nimmt hierauf das Nadelpaar seinen Platz ein, so ist es jetzt nothwendig, die Windungsebenen parallel zu der Nadelebene, resp. in den magnetischen Meridian zu verbringen. Dies geschieht entweder dadurch, dass man durch Umkippen des mit dem Galvanometer verbundenen Inclinatoriums oder besser durch Commutation eines eingeleiteten schwachen galvanischen Stromes Ausschläge in beiden Richtungen hervorbringt und das Instrument so lange dreht, bis die Ausschläge beiderseits der Gleichgewichtslage die gleichen geworden sind. Ueber die Aufstellung des zugehörigen Scalenfern-

rohrs findet man die nöthige Anleitung in meinem Buche „Neuere Apparate“ S. 1 (Stuttgart, Schweizerbart).

Will man jetzt eine Messung vornehmen, so dreht man rasch den Erdinductor um 180° herum; dadurch bringt man im Galvanometer einen Inductionsstoss von einer bestimmten Stärke und Richtung zum Verlauf; die Nadel verlässt ihre Ruhelage, um ihre erste Schwingung zu beginnen. Wenn sie dann zurückkehrt und im Begriff ist, die Ruhelage zu passiren, dann dreht man rasch den Erdinductor um 180° zurück, wodurch man einen entgegengesetzten Inductionsstoss durchs Galvanometer schickt und also jetzt der Nadel einen zweiten Impuls ertheilt. Die durch das Umkippen des Inductoriums (um eine bestimmte Achse) erzeugten Inductionsstösse sind nun unter sich gleichen aber entgegengesetzten Werthes, so dass man eine beliebig lange Reihe derselben auf die hin- und herschwingende Nadel einwirken lassen kann und zwar jeden einzelnen im Augenblick, wann die Nadel die Gleichgewichtslage durcheilt — ähnlich der Einwirkung des Uhrwerkes auf das Uhrpendel. Nach vielen solchen Impulsen wird vermöge der Gegenwirkung durch die Dämpfung die Nadel endlich eine gleichbleibende maximale Elongation für ihre Schwingungen angenommen haben, und diese, an der Scala abgelesen, wird als Maassangabe für die Stromstärke des einzelnen Inductionsstosses genommen.

§ 4.

Weber entnimmt den Entwickelungen über die physikalischen Verhältnisse des Schwingungsgalvanometers und des damit verbundenen Erdinductors, dass der Betrag der Grenzbögen der schwingenden Galvanometernadel direct proportional sei der jedesmaligen Elektricitätsmenge der Inductionsstösse (bei kleineren Schwingungen). Hierauf beruht, wie bereits angegeben, die bis jetzt angewandte Methode der Bestimmung vom Inclinationswinkel durch Messung von Proportionalen zu beiden Componenten der erdmagnetischen Kraft. Um zu untersuchen, ob diese Proportionalität wirklich stattfinde, schreiten wir zur Aichung des Galvanometers im Zusammenhang mit dem Erdinductor und schalten zu diesem Zwecke in die Leitung zwischen dem Erdinductor w_2 und dem Schwingungsgalvanometer w_1 eine Brücke w_3 ein, vermöge welcher jetzt nur mehr ein Theil der im Erdinductor erzeugten Elektricität den Weg durch das Schwingungsgalvanometer nimmt. Aus dem umgekehrten Verhältnisse der Wider-

stände von w_1 und w_3 ergibt sich dann leicht eine Berechnung darüber, welche Elektricitätsmenge im Vergleich zu früher durch das Galvanometer fliesst. Durch die Einschaltung der Brücke w_3 hat sich aber der Gesammtwiderstand der Galvanometerleitung verringert, und es würde sich demgemäss die Dämpfung des Galvanometers vergrössern, was zur Folge hätte, dass man das Resultat einer Messung o h n e w_3 und ein solches, welches man n a c h Einschaltung der Brücke w_3 erhält, nicht in unmittelbare Beziehung zu einander bringen könnte: die Unveränderlichkeit der Dämpfung des Galvanometers ist unbedingt nothwendig.

Um dieser Schwierigkeit zu entgehen, hat man gleichzeitig mit Anbringung der Brücke w_3 noch einen Widerstand w_4 in die Galvanometerleitung einzuschliessen, welcher an Widerstand ergänzt, was durch Einschaltung der Brücke verloren ging.

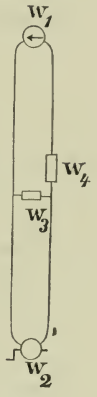


Fig. 5.

Vor allem ist nun die Grösse von w_4 zu berechnen, wenn w_1, w_2 und w_3 gegeben sind. Der Widerstand des gewöhnlichen Stromkreises von Galvanometer und Erdinductor allein ist $w_1 + w_2$; jener nach Einschaltung von w_3 und w_4 ist dagegen für das Galvanometer

$$w_1 + w_4 + \frac{w_2 \cdot w_3}{w_2 + w_3}.$$

Beide müssen wegen Unveränderlichkeit der Dämpfung gleich sein; also ist

$$w_1 + w_2 = w_1 + w_4 + \frac{w_2 \cdot w_3}{w_2 + w_3}.$$

Hieraus ergibt sich als Gesetz für w_4, dass stets sein müsse

$$w_4 = \frac{w_2 \cdot w_2}{w_2 + w_3} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \text{(I}$$

Die Stromstärke im Galvanometer ist dagegen unter Voraussetzung einer elektromotorischen Kraft E einmal

$$S_1 = \frac{E}{w_1 + w_2}; \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \text{(II}$$

sodann nach Einschaltung von w_3 und w_4 allgemein

$$S_2 = \frac{E \cdot w_3}{w_2 (w_1 + w_3 + w_4) + w_3 (w_1 + w_2)}.$$

Da jedoch stets die Gleichung I stattfinden muss, so ist nach Substitution des Werthes von w_4

$$S_2 = \frac{E \cdot w_3}{(w_1 + w_2)(w_2 + w_3)} \quad \ldots\ldots\ldots \quad \text{(III}$$

Bildet man das Verhältnis der Stromstärken zu einander, welche man vor und nach Einschaltung von w_3 und w_4 hat, so ergibt sich allgemein die einfache Beziehung

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{w_2 + w_3}{w_3} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(IV}$$

Aus dieser Gleichung ist zu entnehmen, dass w_1 ausgefallen und dass also das Verhältnis der Stromintensitäten in bezüglichem Falle vom Widerstande des Galvanometers unabhängig ist.

Da es praktisch nicht immer möglich (wegen Mangels passender Instrumente), bei beliebigen Werthen von w_2 und w_3 $w_4 = \frac{w_2 \cdot w_2}{w_2 + w_3}$ herzustellen, es aber ungemein leicht gelingt, einen Widerstand einem anderen gleich zu machen, so wollen wir zunächst $w_2 = w_3$ nehmen; dann wird

$$w_4 = \frac{w_2}{2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(V}$$

und

$$S_1 : S_2 = 2 : 1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(VI}$$

Allgemeiner findet man für ein vorgegebenes Verhältnis

$S_1 : S_2 = n : 1$, dass sein müsse

$$\left.\begin{aligned} w_3 &= \frac{w_2}{n-1} \text{ und} \\ w_4 &= w_2\left(1 - \frac{1}{n}\right) \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(VII}$$

Unter Befolgung der in den Gleichungen V und VI enthaltenen Vorschriften gelingt es sehr leicht nachzuweisen, dass in der That die erwartete Proportionalität nicht strenge stattfindet, selbst bei kleinen Ausschlägen nicht mit der für brauchbare Bestimmungen nothwendigen Schärfe. Es ist demnach nothwendig, an jenen Resultaten, welche mit dem Schwingungsgalvanometer gefunden werden, gewisse Verbesserungen anzubringen, mit deren Hilfe man ihnen eine vollkommen genügende Sicherheit innerhalb der gewöhnlich verlangten Anzahl von Zifferstellen zu geben vermag. Ohne diese Correction ist es unmöglich, in höheren Breiten Inclinationsbestimmungen mit dem Erdinductor vorzunehmen, bei welcher sich die Sicherheit der Bestimmung weiter als höchstens halbe Grade erstrecken würde. Sogar Fehler von einem ganzen Grade und mehr sind nicht ausgeschlossen, wenn der Werth der Inclination einmal 75^0 überschreitet. Vollkommen richtig würden also Resultate ohne Correction oder nach der ursprünglichen Methode nur bei einer Inclination von 45^0 sein.

Nachstehend findet man die Resultate der Aichung eines Schwingungsgalvanometers, wobei ich noch ausdrücklich hervorhebe, dass die angegebenen Zahlen nicht mit Apparaten aus meinen Werkstätten, sondern mit Hilfe von Galvanometer und Erdinductor gefunden sind, welche streng nach Weber's Vorschrift in der Werkstätte von Dr. Meyerstein für das physikalische Cabinet der Münchener technischen Hochschule vor etwa zwölf Jahren angefertigt wurden. In Bezug auf den Zweck der vorliegenden Zeilen, eine Experimentalvorschrift für Inclinationsbestimmungen zu geben, kommt ja die mechanisch-constructive Anlage der Apparate selbst, welche an der Art und Weise der Ausführung der Correction gar nichts ändert, nicht weiter in Betracht. Hier sei nur erwähnt, dass sich die Zahlen mit meinen Instrumenten um einen kleinen Betrag günstiger stellen.

§ 5.

Die Herstellung der Widerstände, welche man nach § 4 in die Leitung zwischen Galvanometer und Inductorium einzuschalten hat, bietet keine Schwierigkeiten. Man bedient sich zu ihrer Anfertigung eines etwa 0,5 mm dicken Kupferdrahtes; und zwar wählt man dieses Material deshalb, damit die Widerstände w_3 und w_4 bei allen Temperaturen mit jenem des Erdinductors w_2 in der vorschriftsmässigen Uebereinstimmung bleiben. Diese Drähte werden auf Holzrollen aufgewunden, wobei man wegen Vermeidung des Entstehens störender Inductionsströme die Mitte des Drahtes zuerst auf die Rolle festbindet und nun beide Enden von hier ab gleichzeitig aufwickelt. Am leichtesten gelingt die Arbeit, wenn man über einen Dehms'schen Apparat oder eine grosse Wheatstone'sche Brücke aus Siemens-schen Stöpselrheostaten, eine v. Beetz'sche Universalbrücke oder doch wenigstens über mehre verlässliche Stöpselrheostaten sammt du Bois-Reymond'schem Compensator verfügt, welche letzten in ihrer Zusammenstellung eines der drei ersten Instrumente allenfalls aushilfsweise zu ersetzen vermögen. Die hierfür nöthigen Beschreibungen und Vorschriften findet man in Wiedemann's Lehrbuch des Galvanismus Bd. I. Als das hierbei zu verwendende Galvanoskop kann man das Schwingungsgalvanometer, als Stromquelle den Erdinductor selbst benützen. Doch gebe ich bequemlichkeitshalber einigen Elementen und einem Wiedemann'schen Galvanometer den Vorzug.

Für die Aichung des Galvanometers genügt es, nur zwei Widerstände herzustellen, nämlich $w_3 = w_2$ und $w_4 = \frac{w_2}{2}$. Ich fand als Widerstand des Erdinductors $w_2 = 0{,}77362$ Quecksilber-Einheiten und hatte demnach $w_3 = 0{,}77362$, $w_4 = 0{,}38681$ zu machen.

Auch wenn man über keine speciellen Widerstands-Messapparate verfügt, dann lässt sich doch helfen und zwar, wie ich mich überzeugt habe, unter Erzielung von Resultaten, die den anderen in Bezug auf ihre Genauigkeit zum mindesten nicht nachstehen. Man baut sich auf einem trockenen Brette eine Wheatstone'sche Brücke zusammen, wie man eine solche häufig als schematische Zeichnung findet, z. B. in Wiedemann's Galvanismus Bd. I. Fig. 95; jedoch bedient man sich statt der Klemmschrauben Quecksilbernäpfe, welche man durch weite Einbohrungen ins Holz herstellt und von denen vier *a*, *b*, *c*, *d* an den Ecken der Raute, welche die Drahtcombination darstellt, stehen. Auf jeder Seite der Raute sind dann ausserdem noch zwei Quecksilbernäpfe angebracht, um hier die Widerstände der Brücke einschalten zu können. Die Näpfe an den Ecken werden durch acht gleichlange dicke Kupferbügel mit den nächstliegenden Näpfen der Seiten leitend verbunden und nun in irgend ein Napfpaar der Erdinductor (mit seinen Zuleitungsdrähten bis w_3 und w_4) eingesetzt, während in die zwei Näpfepaare zusammenstossender Rautenseiten (zunächst aushilfsweise) möglichst genau gleichlang abgeschnittene Kupferdrähte eingelegt werden. In zwei einander an den Ecken der Raute diagonal gegenüberliegende Näpfe (z. B. *a* und *d* in Wiedemann) werden die Galvanometerdrähte, in die beiden anderen (*b*, *c*) die Leitungen von der Stromquelle eingelegt. Der vierte Widerstand bestimmt sich jetzt als ungefähr dem Widerstande des Erdinductors gleich. Solcher Widerstände werden drei nach einander hergestellt, welche schliesslich sammt dem Erdinductor als die vier Widerstände der Brücke benützt werden. Durch öfteres Umtauschen derselben in den Zweigen der Brücke und aufmerksames Corrigiren der Drahtlängen gelingt es bald, dass alle vier Widerstände unter sich vollkommen gleich werden. Einer von den dreien wird später als $w_3 = w_2$, die beiden anderen, neben einander eingeschaltet, als $w_4 = \frac{w_2}{2}$ benützt.

1. Versuch. Der Erdinductor wurde mit horizontaler Wendeachse X in die Nord-Süd-Richtung eingestellt. Ohne Einschaltung der Widerstände w_3 und w_4 wurde folgende Beobachtungsreihe für die Grenzbögen abgelesen (an einer in Doppelmillimeter von der Mitte aus getheilten und stets 2100 mm entfernten Scala):

	links	rechts
	200,6	202,4
	201,1	202,8
	200,4	202,6
	200,5	202,4
	200,8	202,5
	200,4	202,5
	200,6	202,5
	200,3	202,1
	200,4	202,6
	200,7	202,8
Summe	2005,8	2025,2
Mittel	200,58	202,52

$a_1 = 403{,}10$ (Ausschlag etwa 7°)

Nach vorschriftsmässiger Einschaltung der Widerstände w_3 und w_4 (es wird für die leichte Aus- und Einschaltung derselben am besten durch Anbringung von Quecksilbernäpfen gesorgt, in welche sie mit dicken amalgamirten Kupferstiften — ähnlich wie die Normal-Siemens-Einheiten, Wiedemann's Galvanismus Bd. 1 Fig. 109 — eintauchen), wurde gefunden:

98,6	100,8
98,3	100,6
98,4	100,7
98,7	100,9
98,5	100,6
98,5	100,7
98,6	100,5
98,4	100,8
98,6	100,7
98,5	100,6
985,1	1006,9
98,51	100,69

$b_1 = 199{,}20$

Um Veränderungen, welche während der Herstellung dieser und der vorigen Versuchsreihe sich geltend gemacht haben könnten, zu

bemerken und zu eliminiren, wurde noch einmal eine Versuchsreihe hergestellt, ohne Einschaltung von w_3 und w_4, und gefunden:

links	rechts
200,9	202,1
201,3	202,4
200,9	202,4
201,1	202,4
201,2	201,9
200,6	202,4
201,4	202,4
200,8	202,5
200,9	202,3
200,7	202,7
2009,8	2023,5
200,98	202,35

$a_1 = 403{,}33$

Es müsste nun, wenn die Ausschläge des Galvanometers den Intensitäten der Inductionsströme proportional, das Verhältnis $\frac{a}{b} = 2$ sein; statt dessen finde ich

$$k_1 = \frac{a_1 + \alpha_1}{2\, b_1} = 2{,}0242.$$

2. Versuch. Um die nämlichen Beziehungen für schwächere, auf den Erdinductor einwirkende magnetische Kräfte aufzusuchen, wurde in einiger Entfernung und vertical über der Mitte seiner Rolle ein senkrecht stehender Magnetstab angebracht, welcher einen Theil der verticalen Componente des Erdmagnetismus annullirte. Es fanden sich folgende Versuchsreihen:

Ohne w_3 und w_4:	121,7	121,9
	121,6	121,8
	121,9	121,5
	122,3	121,7
	122,2	121,9
	122,0	122,0
	121,7	121,8
	121,6	121,6
	121,8	121,8
	121,9	121,8
	1218,7	1217,8

hieraus $a_2 = 243{,}65$

	links	rechts
Mit w_3 und w_4:	60,4	60,8
	60,7	60,3
	60,8	60,4
	60,6	60,7
	60,7	60,7
	60,4	60,5
	60,6	60,7
	60,5	60,4
	60,8	60,7
	60,7	60,5
	606,2	605,7

hieraus $b_2 = 121{,}19$

Ohne w_3 und w_4:	121,8	121,7
	122,0	121,6
	122,4	121,4
	122,1	121,8
	121,9	121,7
	121,9	121,7
	122,1	121,5
	122,3	121,9
	121,7	121,4
	121,8	121,4
	1220,0	1216,1

$a_2 = 243{,}61$

Hieraus ergibt sich $k_2 = 2{,}0104$.

3. Versuch. Magnetstab etwas näher.

Ohne w_3 und w_4:	70,0	70,2
	69,9	70,2
	70,0	70,1
	70,1	70,0
	70,0	70,2
	70,1	70,2
	70,1	70,2
	70,1	70,1
	70,1	70,2
	70,0	70,2
	700,4	701,6

$a_3 = 140{,}20$

	links	rechts
Mit w_3 und w_4:	34,9	34,9
	35,1	34,8
	35,1	34,8
	34,9	34,9
	35,1	34,9
	35,1	34,9
	34,9	34,8
	35,0	34,9
	35,0	34,9
	35,0	34,9
	350,1	348,7

$b_3 = 69{,}88$

Ohne w_3 und w_4:	70,1	70,3
	70,1	70,2
	70,1	70,2
	70,0	70,0
	70,1	70,1
	70,0	70,1
	70,1	70,1
	70,0	70,0
	70,0	70,0
	70,1	70,0
	700,6	700,9

$a_3 = 140{,}15$

Hieraus $k_3 = 2{,}0060$.

4. Versuch. Bei noch grösserer Annäherung des Magnetstabes wurde gefunden:

Ohne w_3 und w_4:	30,1	30,2
	29,9	30,1
	29,9	30,2
	30,1	30,2
	30,0	30,1
	29,9	30,2
	30,1	30,2
	30,1	30,1
	30,0	30,3
	30,0	30,1
	300,1	301,7

$a_4 = 60{,}18$

	links	rechts
Mit w_3 und w_4:	15,1	15,0
	14,9	15,2
	15,0	15,0
	15,0	15,1
	14,9	15,0
	15,1	15,0
	15,1	15,1
	15,0	15,0
	15,0	15,0
	14,9	15,0
	150,0	150,4

$b_4 = 30{,}04$

Ohne w_3 und w_4:	30,1	30,1
	30,0	30,1
	30,0	30,0
	30,0	30,1
	30,1	30,2
	30,0	30,0
	29,9	30,1
	30,1	30,0
	30,0	30,0
	30,1	30,1
	300,3	300,7

$a_4 = 60{,}10$

Hieraus $k_4 = 2{,}0020$.

Es ist in der Praxis ausserdem nothwendig, noch einige Versuchsreihen mit umgekehrtem Magnetstabe und dadurch etwas verstärktem Erdmagnetismus anzustellen.

§ 6.

Die nächste Aufgabe ist nun die, eine Methode anzugeben, durch welche man unter Bezugnahme auf die vorstehenden Aichungsziffern jede durch das Schwingungsgalvanometer erhaltene Ablesung so berichtigen kann, dass der Quotient je zweier so corrigirter Resultate das wirkliche Verhältnis der Intensität der Inductionsstösse ausdrückt. Ich habe hierfür eine graphische Methode gesucht, deren Ausführung und Erklärung im Folgenden und auf Taf. I angegeben ist.

Man nehme aus den Resultaten der Aichung zur Construction von Curven:

Als Abscissen:

Grenzbögen zu jenen Elektricitätsmengen, welche nicht durch Verzweigung halbirt wurden: aber ausgedrückt durch solche Scalenablesungen (ganze Schwingungsbögen $2b$), wie sie hätten gefunden werden müssen, wenn die ganzen Elektricitätsmengen wirklich die doppelten Ausschläge von den durch Verzweigung erhaltenen (b) halbirten gegeben hätten.

Als dazu gehörige Ordinaten:

1. die gefundenen Zahlenwerthe der b; dann
2. jene von $2b$; endlich sind über diese noch
3. jene Werthe aufzutragen, welche sich aus der Gleichung $\nu = a + \alpha - 2b$ ergeben. So würden bezüglich unserer ersten Versuchsreihe als Abscisse $2b_1 = 398{,}40$; als Ordinaten $b_1 = 199{,}20$; $2b_1 = 398{,}40$; $\nu = 4{,}81$ zu dienen haben, wobei unter a, α und b wie in § 5 die bei der Aichung erhaltenen zusammengehörigen Grenzbögen zu verstehen sind. Ich habe wegen Deutlichkeit der Figur die Differenzen ν in zehnfach grösserem Maassstabe aufgetragen. Die Originalzeichnung der Curven muss selbstverständlich im nicht oder einem nur wenig verkleinerten Maassstabe der Fernrohrscala ausgeführt werden.

Wir erhalten so unsere Beobachtungsresultate als Punkte (auf Taf. I durch Kreise markirt) und angehörig zweien, nunmehr zeichnerisch auszuführenden Linien, nämlich: (für die halben Elektricitätsmengen) eine Gerade OA, welche von Null mit einem Neigungswinkel zur Abscissenachse OX ansteigt, dessen trigonometrische Tangente durch das Verhältnis 1 : 2 auszudrücken ist; und (bezüglich der ganzen Elektricitätsmengen) eine Curve OB, welche in ihren Ordinaten so viel von einer unter 45° einschneidenden Geraden OC abweicht, als die ganzen Elektricitätsmengen grössere Grenzbögen zur Ablesung bringen, als die doppelt genommenen Ausschläge für die halben Mengen hätten unter der Annahme erwarten lassen, dass die Proportionalität zwischen Elektricitätsmenge und Grenzbogen richtig wäre.

Die beiden Linien OA und OB geben uns nun zwar ein klares Bild, auch eine ganz bestimmte Antwort darüber, wie gross sich der Ausschlag $2n + \nu$ für eine gewisse Elektricitätsmenge ergeben wird, wenn man für das halbe Quantum einen Ausschlag von n Scalentheilen gefunden hat. Indessen ist doch unsere Zeichnung bis jetzt noch nicht im Stande, das Verhältnis zweier Elektricitätsmengen n_1 und n_2

unter sich richtig anzugeben, von welchen wir als die zugehörigen Ausschläge $n_1 + \nu_1$ und $n_2 + \nu_2$ durch das Experiment festgestellt haben. Nehmen wir nunmehr die Abscissen als Elektricitätsmengen, die Ordinaten als die zugehörigen Grenzbögen; ferner jene Elektricitätsmenge als „Eins“ an, welche den Grenzbogen „Hundert Scalentheile“ hervorbringt, dann entsprechen diesen Ausschlägen auf beiden Curven OA und OB die Punkte c_1 und d_1. Durch den Schnitt von Ordinate c_1 mit der Curve OB in (d_2) finden wir den Scalenausschlag für die Elektricitätsmenge „Zwei“ als Länge der Ordinate $x \mid (d_2)$. Derselbe Ausschlag $c_2 = (d_2)$ wird am Galvanometer aber auch dann hervorgebracht, wenn man von der Elektricitätsmenge „Vier“ die Hälfte vermittelst unserer Brückenverbindung ins Galvanometer schickt, während aus den Constructionseigenschaften der Curve OA und OB hervorgeht, dass die zu c_2 gehörige Ordinate $y \mid (d_4)$ dem Ausschlage für die Elektricitätsmenge „Vier“ im Galvanometer zukommt. Nun entspricht aber weder die Abscisse Ox noch Oy in Wirklichkeit den Elektricitätsmengen 2 und 4, sondern eben die Abscissen $O \mid 200$ und $O \mid 400$, weshalb auf den Ordinaten in 200 und 400 die wirklich zugehörigen Scalenausschläge $x \mid (d_2)$ und $y \mid (d_4)$ jetzt abgeschnitten werden können und als die Punkte d_2 und d_4 erscheinen.

Durch Wiederholung der nämlichen Construction findet man noch die weiteren Punkte c_4, d_8, sowie durch ein ähnliches Verfahren nach abwärts die Punkte $d_{0,5}$, $d_{0,25}$ für die Elektricitätsmengen 0,5 und 0,25; so ist endlich durch die Punkte $d_{0,25}$, $d_{0,5}$, d_1, d_2, d_4, d_8 eine neue Curve zu ziehen, welche Ordinaten abschneidet, deren bezügliche Abscissen die zugehörigen Werthe der Elektricitätsmengen angeben — jedoch, wie bereits bemerkt, unter der Voraussetzung, dass als Elektricitätsmenge „Eins“ jene angenommen werde, welche der Nadel des Galvanometers den Grenzbogen 100 verschafft. In solcher Annahme sind wir natürlich nicht beschränkt, da für die Bestimmung der Inclination vermittelst des Erdinductors nicht absolute, sondern nur Proportionalzahlen verlangt werden.

Die Curve . . . d_1, d_2, d_4 . . . erhebt sich, wegen unserer Annahmen, von d_1 nach aufwärts über die Curve OB, während sie zwischen O und d_1 der Abscissenachse näher als diese liegt. Aehnlich ist das Verhältnis zwischen eben dieser Curve und der Geraden OC; doch liegt im vorstehenden Falle ihr Schnittpunkt ungefähr 40 Scalentheile unterhalb d_1 gegen O zu.

Es ist hier anzumerken, dass die vorgezeichnete graphische Arbeit weder schwierig noch zeitraubend ist, und dass sie sich, hauptsächlich wenn die Zeichnung in genügenden Dimensionen ausgeführt wird, durch grosse Genauigkeit in der Bestimmung der Werthe auszeichnet, weil gar keine stumpfen Linienschnitte vorkommen, sondern meist solche unter nahezu 45^0. Wenn man zwischen den Punkten d_2, d_4, d_8, welche weit aus einander liegen, noch zwischenliegende Curvenpunkte construiren will, kann man von der Abscisse $d_{1,5}$ für die Elektricitätsmenge „Eineinhalb" ausgehen, welche man durch das zwischen d_1 und d_2 bereits eingezeichnete Curvenstück (fast vollkommen eine Gerade) fixirt.

Die Anwendung der Curven ergibt sich nunmehr von selbst. Man bestimmt mit horizontaler und verticaler Drehachse des Inductoriums die beiden Grenzbögen, schneidet dann durch zwei Parallele zu OX im Abstande der Werthe der Grenzbögen zwei Schnittpunkte m und n auf der Curve OD ein, fällt ferner von diesen aus Perpendikel auf OX, worauf die Abstände lr und st die corrigirten Werthe der Grenzbögen angeben. So wurden (München, 24. März 1881) als Grenzbögen gefunden: $mr = 403{,}1$ und $ns = 198{,}7$; die corrigirten Grenzbögen aus der Zeichnung ergeben sich als $lr = 394{,}3$ und $st = 197{,}4$; folglich ist die Inclination

$$\varphi = 63^0\ 24{,}6'.$$

Hätte man die Correction nicht benützt, dann wäre als Inclination gefunden worden

$$(\varphi) = 63^0\ 45{,}6'.$$

Der Fehler, welcher also durch die bis jetzt üblich gewesene Bestimmungsmethode mit dem Weber'schen Erdinductor in München gemacht wurde, beträgt demnach 21'.

Man kann auch aus den Coordinatenwerthen einzelner Punkte sich eine Hilfsgleichung zusammenstellen, in welche man die nichtcorrigirten Werthe einsetzt, um die corrigirten herauszurechnen.

Oder man kann noch einfacher sich aus der Zeichnung eine Tabelle anfertigen. Zu diesem Zwecke schneidet man mit einer Schaar von Parallelen zu OX, deren Ordinaten man von 10 zu 10 Scalentheilen von Null an zunehmen lässt, in die Curve OD ein und fällt dann von allen Schnittpunkten aus Perpendikel auf die OX, deren Längen von der Curve OD, sowie von der Geraden OC an neben

einander in die Tabelle eingetragen werden. Die zwischenliegenden Werthe kann man durch eine einfache Interpolation finden, indem die zwischenliegenden Stücke der Curve *OD* als gerade anzunehmen sind. Aus den Differenzen zweier auf einander folgender Tabellenziffern, welche regelmässig wachsen sollen, ersieht man, ob die Zeichnung mit genügender Genauigkeit ausgeführt wurde; es lassen sich sogar durch Zurechtstellen dieser Differenzen und Auscorrigiren der Tabelle kleinere Ungenauigkeiten und Unregelmässigkeiten derselben verbessern.

§ 7.

Eine vorzügliche Art, die Inclination durch unsere Instrumente fehlerfrei zu bestimmen, ergibt sich aus der Anwendung der Gleichungen VII. Diese Methode beruht darauf, dass man im Schwingungsgalvanometer mit Hilfe der inducirenden verticalen Componente und unter gleichzeitiger Anwendung von angemessenen Widerständen w_3 und w_4 denselben Grenzbogen zu erreichen strebt, welchen die horizontale Componente an sich hervorbringt. Aus der Grösse der verwendeten Widerstände lässt sich dann leicht ein Schluss auf die Elektricitätsmengen machen, welche vor und nach der Verzweigung durchs Galvanometer gehen, und deren Verhältnis das wahre Verhältnis der magnetischen Componenten ausdrückt. Dieses Ziel kann man durch Annäherung so genau, als man immer will, erreichen, nur setzt die Methode voraus, dass man über gute Messapparate verfügt, mit deren Hilfe man jeden beliebigen Widerstand herzustellen vermag. Das in folgenden Zeilen angegebene Beispiel möge diese Methode erläutern.

Man bestimmt vor allem auf die gewöhnliche Art beide Grenzbögen, welche durch die horizontale und verticale Componente hervorgebracht werden. Als solche wurden im Mittel gefunden (München, 1. April 1881)

$$a = 367{,}80 \text{ und } b = 181{,}30.$$

Das Verhältnis dieser beiden Zahlen zu einander ist $n = \frac{a}{b} = 2{,}0287$; mit dieser Zahl ist jedoch das Verhältnis der bezüglichen Elektricitätsmengen nicht richtig ausgedrückt, wie wir bereits wissen; indessen weicht n doch nicht sehr bedeutend von dem wahren Verhältnisse ab, und wir können also erwarten, dass wir bei verticaler inducirender Componente, welche für sich also einen Grenzbogen von $a = 367{,}80$ Scalentheilen hervorbringt, nahezu den anderen Grenzbogen $b = 181{,}30$ erhalten werden, wenn wir von der ganzen (kurz gesagt) Vertical-Elektricitäts-

nur $\frac{1}{n}$ ins Schwingungsgalvanometer gelangen lassen; wie aber für diesen Zweck eine Stromverzweigung in der Leitung zwischen Inductor und Galvanometer beschaffen sein müsse, lehren die Gleichungen VII. Setzt man in diese die Werthe $n = 2{,}0287$ und den Widerstand der Inductionsrolle, welcher als $w = 0{,}77326$ Q. E. bestimmt wurde, ein, so ergibt sich, dass man nehmen müsse

$$\text{I } w_3 = 0{,}75233 \text{ Q. E.}$$
$$\text{I } w_4 = 0{,}39225 \text{ Q. E.}$$

Nach Einschaltung dieser Widerstände ergab sich im Mittel ein Grenzbogen von nur

$$c = 178{,}40 \text{ Scalentheilen.}$$

Man ersieht hieraus, dass ein zu kleiner Bruchtheil der Vertical-Elektricität ins Schwingungsgalvanometer gelangte, und zwar zu klein im ungefähren Verhältnisse von

$$\frac{c}{b} = \frac{178{,}40}{181{,}30} = 0{,}98399 = p.$$

Um also einen richtigeren, an b genäherteren Grenzbogen zu erhalten, wird man statt der Zahl n jetzt die verbesserte Zahl $n_1 = n \cdot p = 1{,}9966$ der Widerstandsberechnung zu Grunde zu legen haben. Für dieses neue Verhältnis bestimmen sich die erforderlichen Widerstände zu

$$\text{II } w_3 = 0{,}77627 \text{ Q. E.}$$
$$\text{II } w_4 = 0{,}38607 \text{ Q. E.}$$

Bei Einschaltung derselben näherte man sich jetzt schon dem Werthe b durch den Ausschlag von $d = 181{,}25$ Scalentheilen. Demnach ist auch n_1 noch mit dem Verhältnisse $\frac{d}{b} = 0{,}99973$ zu multipliciren, und es ergibt sich mit genügender Sicherheit (ohne dass man nochmals die Widerstände zu verbessern und Schwingungsversuche anzustellen brauchte)

$$n_2 = n_1 \cdot \frac{d}{b} = 1{,}9956.$$

Da $n_2 = \operatorname{tg} \varphi$ ist, so ergab sich hieraus eine Inclination von

$$\varphi = 63^\circ\ 23{,}6'\ ^1).$$

1) Das Local war nicht eisenfrei und die Meyerstein'schen Apparate nicht stabil und noch dazu abgenützt.

Ich bin der festen Ueberzeugung, dass man auf dem Wege des soeben mitgetheilten Verfahrens und durch die Benützung von Instrumenten der in § 2 und § 3 angegebenen Construction die Inclination so genau bestimmen könne, als dies nur irgendwie gewünscht würde — jedenfalls viel genauer und sicherer als durch alle bis jetzt bekannt gewordenen. Für eine Reihe von Beobachtungen am gleichen Orte ist die Bestimmung weniger zeitraubend, da (in Bezug auf das vorstehende Beispiel) bei genügend sicher bestimmten und in ihren Verhältnissen zu w_2 constant bleibenden Widerständen II w_3 und II w_4 nur die drei Schwingungsversuche, welche die Zahlen a, b und d ergeben, vorzunehmen sind, ohne an diesen Widerständen selbst etwas zu ändern. Die Inclination ergibt sich dann aus der Gleichung

$$\operatorname{tg} \varphi = p \cdot \frac{a \cdot d}{b^2},$$

wobei als die Constante p stets jenes Verhältnis der beiden Schwingungsbögen $\frac{c}{b}$ genommen werden soll, welches einst bei Gelegenheit der Bestimmung der Widerstände II w_3 und II w_4 gefunden wurde.

Anhang.

Es liegt die Frage nahe, woher der mehrfach besprochene Umstand rühre, dass selbst bei kleineren Grenzbögen diese den Elektricitätsmengen nicht proportional werden, und ob man solches nicht vielleicht durch Constructionsänderungen u. s. w. auf einfache Weise verbessern könne. Ich habe in dieser Richtung einige Versuche angestellt, deren Resultate die folgenden waren.

Vor allem sind die vier Versuche ins Auge zu fassen, welche in § 5 aufgeführt sind. Aus denselben ergibt sich unmittelbar, dass die Ausschläge unverhältnismäsig grösser werden, als sie im Vergleich zu Ausschlägen ausfallen sollten, welche von geringerer Elektricitätsmenge herrühren: das Dämpfungsverhältnis ist abhängig von der Schwingungsweite. Es erklärt sich dies sehr leicht daher, dass die in der Nähe der Windungen schwingende Galvanometernadel dann ein Maximum von (ihre Bewegung dämpfendem) Strome inducirt, wenn ihre Achse parallel zu den Drahtwindungen wird. In jeder anderen Lage, wo Achse und Windungsrichtung einen Winkel unter sich einschliessen, ist die Inductionswirkung der bewegten Nadel selbstverständlich schwächer. Bei kleinen Schwingungen bewegt sich also die Nadel im Felde grösserer Dämpfung, während sie bei grösseren Elongationen auch durch Orte wandert, wo die Dämpfung geringer, also auch der Gesammteffect aller Dämpfung kleiner wird. Man kann deshalb auch die Behauptung aufstellen, dass mehrerwähnte Proportionalität um so eher stattfinden werde, je geringer die Dämpfungswirkung der Nadel auf die Windungen überhaupt gemacht werde, d. h. je grösser der Widerstand im Galvanometer sei. Ich konnte solche Verhältnisse sehr leicht experimentiren, da die Aichungswiderstände w_3 und w_4 nur vom Widerstande des Erdinductors abhängig sind und man also sogleich diejenigen verwenden kann, welche die Stromintensität auf die Hälfte des ursprünglichen Werthes herabdrücken. Ich durfte nur in die eigentliche Galvanometerleitung beliebige Widerstände einschalten und durch entsprechende Annäherung eines Magnetstabes an die Inductorrolle dafür sorgen, dass der grosse Grenzbogen in seinem ursprünglichen Werthe erhalten blieb. Ohne Vergrösserung des Galvanometerwiderstandes wurde gefunden

$$k = 2{,}0244.$$

Bei Vermehrung desselben um 5 Q. E. ergab sich dagegen nur mehr

$$k = 2{,}0197.$$

Aber abgesehen von dem Umstande, dass man bei Einschaltung selbst von grösseren Widerständen der reinen Proportionalität doch nicht genügend nahe kommen kann, wird noch ausserdem die ganze Arbeit sehr langweilig, weil die Nadel ihren Grenzbogen erst nach um so mehr Schwingungen erreicht, als die Dämpfung schlechter wird. Man müsste aber, wenn es überhaupt wünschenswerth erscheinen sollte, ein fehlerfreies Schwingungsgalvanometer zu construiren, bei welchem die Windungen selbst die Dämpfung besorgen, die Richtung der einzelnen Windungslagen auf einem runden dosenförmigen Rahmen nach und nach so weit ändern, dass die am meisten aus einander liegenden Windungen etwa den doppelten Winkel des grössten Ausschlages mit einander bilden. Es wäre dies nicht sehr schwierig und man müsste nur die Anzahl der jeder Richtung angehörigen Windungen um so grösser nehmen, als das bezügliche Windungsbündel sich durch grösseres Entferntstehen von der Nadel dem inducirenden Einflusse desselben mehr entzieht. Fünf Richtungen würden wahrscheinlich genügen, von welchen die eine parallel zur Ruhelage der Nadel, zwei mit dem einfachen und zwei mit dem doppelten Betrage des grössten Schwingungsbogens von rechts und links her die Mittellage kreuzen. Freilich könnte man bei verminderter Dämpfung durch die Windungen in die Nähe einer der Nadeln auch einen kupfernen Dämpfer anbringen, der in Bezug auf die Drehachse der Nadel ein Rotationskörper sein müsste. Am besten wäre es dann vielleicht, den Windungen die Aufgabe des Dämpfens (fast) ganz zu nehmen. Man könnte dies dadurch erreichen, dass man an den Anschlägen A und B Fig. 1 je einen Contact anbrächte, durch welche beide hindurch die Leitung zum Galvanometer ginge. Im Augenblicke des Anschlags und so lange derselbe dauert, müsste die Galvanometerleitung durch diese Vorrichtung unterbrochen sein. Man müsste jedoch darauf achten, dass die Zeitdauer jeder Umkippung möglichst dieselbe und der Winkelbetrag der Drehung, welcher für den Unterbrechungsact verbraucht würde, beiderseits der gleiche wäre. Es ist dies eben nur ein Vorschlag zu einer Verbesserung, welche aber durch die Thatsache an Werth verliert, dass man nunmehr auch ohne solche Zugaben vollkommen scharfe Bestimmungen erreichen kann.

Ich habe auch eine Untersuchung darüber angestellt, ob nicht vielleicht auch durch die Luftreibung, welche die schwingende Nadel zu überwinden hat, die Proportionalität gestört würde; es ist dies in der That, wenn auch in nicht sehr bedeutendem Betrage, der Fall. Es wurden zwei Versuchsreihen experimentirt: einmal wurde die Nadel an und für sich auf das Grenzbögenverhältnis geprüft, wenn die ganze und dann die halbe Elektricitätsmenge auf sie einwirkte; es wurde gefunden

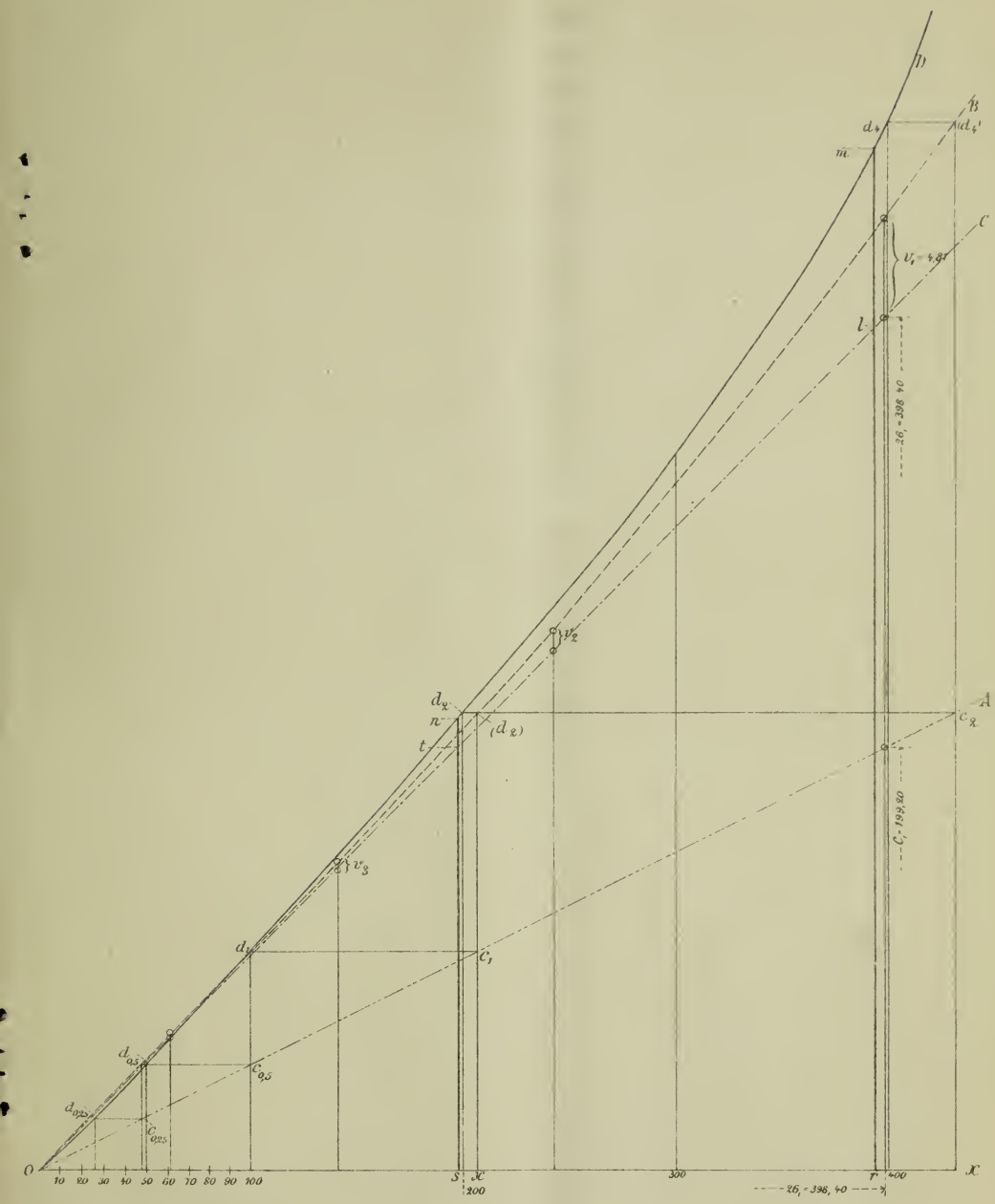
$$k = 2{,}0245.$$

Hierauf wurde an beide Enden der unteren Nadel je ein etwa 6 ^{qcm} grosses Stück Seidenpapier angeklebt, welches also den Querschnitt der Nadel vermehrte. Als man durch die Annäherung eines kleinen Magnets an den Erdinductor zunächst den grossen Grenzbogen auf den nämlichen Betrag wie vorhin gebracht hatte, fand sich durch die Aichung

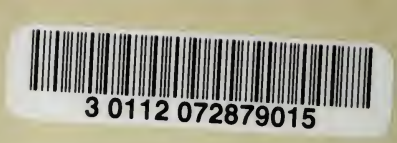
$$k = 2{,}0268.$$

Nach Schluss dieser Zeilen habe ich von meinem hochgeehrten Gönner, Herrn Director Dr. Wild in Petersburg Mittheilung über seine neueste Arbeit erhalten, welche dieselbe Aufgabe auf anderem Wege löst und zugleich hierherbezügliche Literaturangaben enthält. Dieselbe findet sich im Bulletin de l'Academie de St.-Pétersbourg XI, 467 und wird auch im Repertorium erscheinen.

Edelmann, Bestimmung der erdmagnetischen Inclination mittels des Weber'schen Erd-Inductors.



Lith. Anst. v. Dr. C. Wolf & Sohn, München.


3 0112 072879015